



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Løfteanalyser i skvalpesonen



BachelorOppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Energi- og Prosesssteknikk

Av: Nils Magne Katla
Stig Arve Vold

Kand.nr. 54
Kand.nr. 16

Haugesund

Våren 2006

Forord

Ved avslutning av ingeniørstudiene ved Høgskolen Stord Haugesund er det obligatorisk å skrive en bacheloroppgave. I denne oppgaven skal kunnskap som er tilegnet i løpet av studieperioden anvendes på et emne gitt av en ekstern bedrift. I vår oppgave har vi hatt spesielt bruk for kunnskaper gitt i fagene fysikk, matematikk og undervannsteknologi.

Vår oppgave ble gitt av DeepOcean i Haugesund. Her fikk vi selv velge hvilken type oppgave vi ville ha og det ble da valgt en analyseoppgave som ble utarbeidet i samarbeid med bedriften og intern veileder.

Oppgaven skal ta for seg løfteanalyser i skvalpesonen ved offshore arbeidsoperasjoner. Registrerte data fra en operasjon på Åsgard feltet skal sammenlignes med beregnede resultater fra DNV sitt regelverk og mot resultatene fra beregningsprogrammet Orcaflex.

Beregningsgrunnlagene er tatt med i rapporten mens selve beregningene ligger som vedlegg. Oppgaven er for øvrig bygd opp slik at lesere uten inngående kunnskaper i undervannsteknologi og hydrodynamikk skal kunne få best mulig utbytte av problemstillingene.

Vi vil her få benytte anledningen til å takke følgende for god veiledning gjennom prosjektet vårt:

- Jens Christian Lindaas - intern veileder ved HSH
- Vibece Nicolaysen – ekstern veileder ved DeepOcean
- Kundesupport hos Orcina

Haugesund 3.mai 2007

Stig Arve Vold

Nils Magne Katla

Sammendrag

Oppgaven er utført på oppdrag fra DeepOcean AS i Haugesund, med bakgrunn i deres ønske om et bedre beslutningsgrunnlag for når de kan utføre offshore løfteoperasjoner fra overflatefartøyene de opererer. For å unngå skader på utstyret når det senkes gjennom skvalpesonen er det viktig å ikke få slakk i løftevaieren.

Oppgaven tar utgangspunkt i en utført løfteoperasjon på Åsgard feltet. Her ble det logget data for bølger, last i løftevaier og for selve løfteforløpet underveis i operasjonen. Disse opplysningene er blitt systematisert og danner i neste omgang grunnlaget for videre beregninger.

De virkelige dataene er blitt sammenliknet med to beregningsmodeller som brukes i bransjen. Dette er beregningsmodellen til DNV "*Rules for planning and execution of marine operations*" og analyseprogrammet Orcaflex. Videre er det endret på forskjellige parametere for å se hvilken innvirkning dette har på lasten i vaier.

De avvikene som beregningsmodellene gir blir drøftet, og årsakene til avvikene er belyst.

Resultatene fra beregningene viser at Orcaflex gir veldig sammenfallende verdier med virkeligheten og dermed god margin til slakk vaier. DNV sine beregningsmodeller er som på forhånd forventet noe mer konservative, men også de gir god margin til slakk vaier.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Innholdsfortegnelse.....	III
Kapittel 1 Innledning	1
1.1 Historikk	1
1.2 DeepOcean	2
1.3 Problemstilling	2
1.4 Målsetning.....	3
1.5 Begrensninger/forenklinger	3
Kapittel 2 Arbeidsoperasjonen.....	4
2.1 Åsgard	4
2.2 Normand Flower	5
2.3 Modul Håndterings System.....	6
2.4 FCM og FCMRT.....	7
2.4.1"Flow Control Module" (FCM)	7
2.4.2"Flow Control Module Running Tool" (FCMRT).....	8
2.5 Beskrivelse av operasjonen.....	8
2.6 Skvalpesonen	9
2.7 Værvindu - signifikant bølgehøyde	9
Kapittel 3 Hydrodynamikk	10
3.1 Masse, vekt og oppdrift.....	10
3.2 Hydrodynamisk masse – Added mass	10
3.3 Hydrodynamisk demping - Drag	11
3.4 Slam	11
3.5 Slakk vaier	11
3.6 RAO	11
3.7 Kranhastighet	11
Kapittel 4 Gjeldende regelverk	12
4.1 OD/Petroleumstilsynet.....	12
4.2 DNV Regelverk	13
Kapittel 5 Utført operasjon	14
5.1 Vær og bølgedata	14
5.2 Last i løftevaier	14
5.3 Manuell logging	14
5.4 Sammenstilling av dataene	15
5.5 Kommentarer	16
Kapittel 6 DNV beregninger.....	17
6.1 DNVs"Rules for planning and execution of Marine Operations"	17
6.2 Aktuelle krefter i forhold til regelverk.....	17
6.2.1 Total kraft.....	17
6.2.2 Statisk kraft.	17
6.2.3 Hydrodynamisk kraft.	19
6.2.3.1 Slamming kraft.....	20
6.2.3.2 Drag kraft	22

6.2.3.3 Massekraft.....	24
6.3 Beregningsanalyse	26
6.3.1 Posisjon 1 (P1)	26
6.3.2 Posisjon 2 (P2)	27
6.3.3 Posisjon 3 (P3)	28
6.3.4 Posisjon 4 (P4)	29
6.4 Resultater	29
6.5 Forandring av parametere	30
6.5.1 Forandring av bølgedata	30
6.5.2 Konklusjon	30
Kapittel 7 Orcaflex.....	31
7.1 Oppbygning av programmet	31
7.2 Input til program - Forenklinger	32
7.2.1 Fartøy	32
7.2.2 MHS / Vinsj	33
7.2.3 Objekt.....	33
7.2.4 Shape	33
7.2.5 Lede liner	34
7.2.6 Environment.....	34
7.2.7 Input verdier.....	35
7.3 Resultater	36
7.4 Forandring av parametere	37
7.4.1 Forandring av bølgehøyde	37
7.4.2 Forandring av drag/slamming areal	38
7.4.3 Forandring av vinsj hastighet.....	38
7.4.4 Forandring av koeffisienter.....	38
7.4.5 Konklusjon.....	38
Kapittel 8 Komparativ analyse.....	39
8.1 Resultater	39
8.2 Årsaker til avvik mellom DNV og målte verdier.....	40
8.2.1 Slamming og Drag hastighet.....	40
8.2.2 Volum	40
8.2.3 Masse/Tregghets krefter.....	40
8.2.4 Drag og Slamming koeffisienter.....	40
8.2.5 Generelt.....	40
8.3 Årsaker til avvik mellom DNV og Orcaflex.....	41
8.4 Konklusjon.....	41
Konklusjon	42
Referanseliste:.....	44
Figurliste	44
Vedleggsliste.....	45

Kapittel 1 Innledning

1.1 Historikk

Ved nye utbygginger av olje og gassfelt blir stadig mer av produksjonsutstyret flyttet ned på havbunn. Årsakene til dette blant annet følgende:

- Utvide rekkevidden til eksisterende plattform. Hvis en finner årer eller deler av feltet som på grunn av geometri og dybde ikke kan nås med produksjonsenhetens eksisterende utstyr, kan en legge ut et brønnstrømsrør til en undervannsramme og fra den bore seg rett ned i det aktuelle området
- Hvis et reservoar er så lite at det ikke forsvarer en utbygging med en egen plattform, kan det utvinnes ved å installere en undervannsenhet som vil bli en billigere løsning. Denne kan så knyttes opp mot et modifisert fartøy eller en rigg.
- Å tilvirke og installere en undervannsinstallasjon tar mye kortere tid enn en produksjonsplattform, dette vil gi raskere inntjening av investert kapital.
- Forholdsvis rimelig måte å teste ut om en større utbygging av et felt er lønnsomt og eventuelt hvilken utbyggingsløsning en skal velge.
- Nye funn blir ofte oppdaget på så store vanddyb at en vanlig riggproduksjon ikke er økonomisk forsvarlig, f.eks. Ormen Lange som ligger på ca 800 meters dyp.

Denne utviklingen har ført til en stor økning av undervanns arbeidsoperasjoner som må utføres ved hjelp av overflatefartøyer.

1.2 DeepOcean



Figur 1.2.1 Overflatefartøy og ROV [1]

DeepOcean ble etablert i 1999 av tidligere ansatte i Stolt Offshore sammen med de lokale rederiene Solstad Offshore ASA og Østensjø Rederi AS. Firmaet har senere fusjonert med Oceanteam i Bergen og høsten 2006 kjøpte de opp det britiske undervannsfirmaet CTC Marine Projects. Hovedkontoret ligger på Risøy i Haugesund og de har avdelingskontorer i UK, Nederland og Mexico. DeepOcean har i dag totalt ca 600 ansatte fordelt på kontorer og 14 DP fartøyer rundt omkring hele verden. Firmaet har en omsetning på ca 2 milliard NOK.

Firmaet er i dag en ledende aktør innen undervannstjenester i Norge, de forskjellige tjenestene som utføres er:

- IMR-work (Inspection, Maintenance and Repair)
- Havbunnskartlegging (Survey)
- Undervanns- installasjonsarbeid og modulhåndtering
- Fjerning av utstyr etter driftsnedlegging
- Ingeniør og operasjonstøtte av PRS (Pipeline Repair System)

Gjennom langsiktige kontrakter hos bla. Statoil, Hydro, Diavaz og Technip har DeepOcean sikret seg et høyt aktivitetsnivå også de kommende år. [1]

1.3 Problemstilling

Ved løft i forbindelse med undervannsoperasjoner er det vanlig å benytte DNV sitt regelverk; -*"Rules for planning and execution of marine operations"*. [2] Dette regelverket definerer beregningsmodeller for de enkelte kreftene som vil oppstå under operasjonene. Praktiske erfaringer har imidlertid vist at disse reglene kan være veldig konservative. Målet for operatørene i bransjen er å kunne utføre operasjoner året rundt, men ved å bruke gjeldende regelverk vil mange av jobbene bare kunne utføres i sommerhalvåret.

Det finnes også databaserte programmer som gjør hydrodynamiske analyser, Orcaflex er et slikt program. DeepOcean er i ferd med å ta dette programmet i bruk og det er dermed ønskelig å vite mer om hvor gode resultater det gir for ulike operasjoner.

1.4 Målsetning

Målsetningen til oppgaven kan sammenfattes i følgende punkter:

- Finne en realistisk anvendelse av DNVs beregninger, ved operasjoner utført i moonpool.
- Anvende Orcaflex for å gjøre en analyse som blir mest mulig relevant i forhold til virkelig utført operasjon på Åsgard.
- Vurdere resultatene fra disse metodene opp mot DeepOceans registreringer fra operasjonen. På bakgrunn av dette, vurdere om disse analysemetodene kan anbefales brukt ved operasjoner i moonpool.

1.5 Begrensninger/forenklinger

Ved bruk av teoretiske analysemetoder vil det ofte bli nødvendig å foreta visse forenklinger. Disse forenklingene vil bli kommentert underveis i de aktuelle kapitler.

Av tidsmessige årsaker er det nødvendig å gjøre forenklinger i arbeidet med å definere et system i Orcaflex. Dette vil også bli spesifisert nærmere i rapporten.

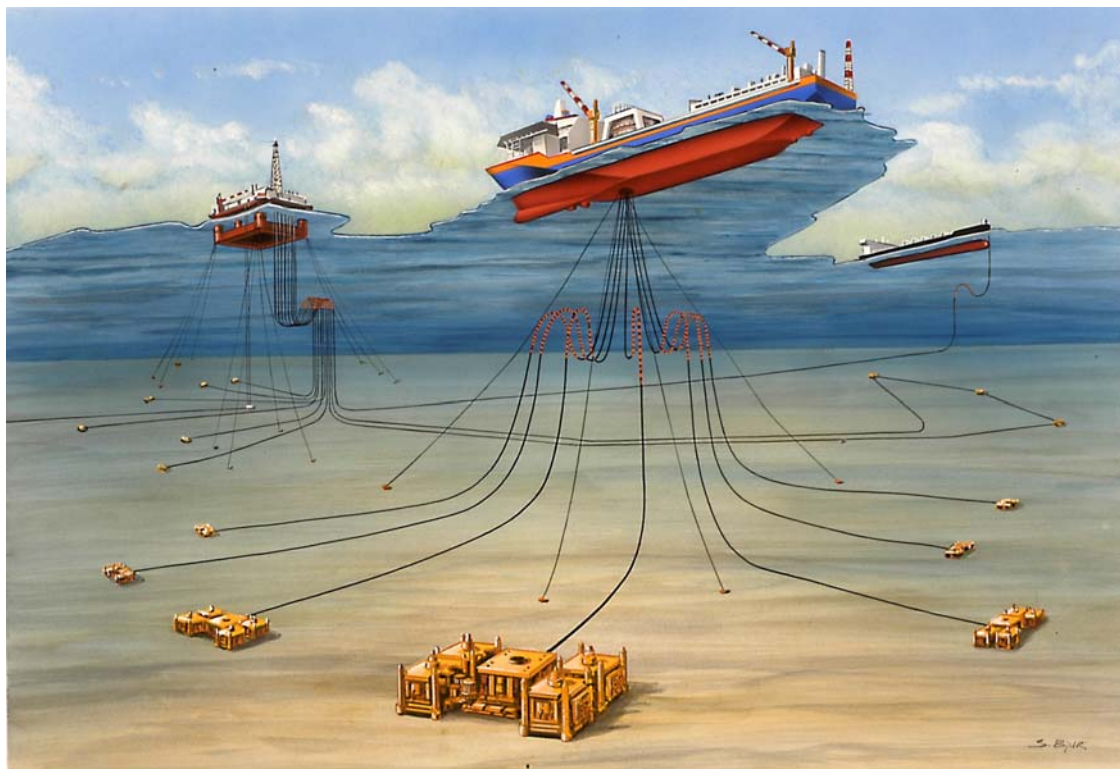
Kapittel 2 Arbeidsoperasjonen

Her vil lokalitet, fartøy og utstyr som ble benyttet under operasjonen bli beskrevet nærmere.

2.1 Åsgard

Åsgard feltet ligger på Haltenbanken i norskehavet ca 200 kilometer utenfor trøndelagskysten og består av tre overflateenheter:

- Åsgard A er et produksjonsskip for olje
- Åsgard B er en flytende plattform for produksjon av gass
- Åsgard C er et lagerskip for kondensat.



Figur 2.1.1 Åsgard feltet [3]

Åsgard feltet er verdens største undervanns produksjonsanlegg med 52 havbunnskompletterte brønner fordelt på 16 bunnrammer. I tillegg til egen produksjon er feltet også et knutepunkt for produksjonen fra flere andre felt i området. Gass fra Heidrun, Draugen, Mikkell og Norne kommer inn på rørledningen Åsgard Transport som går fra Åsgard feltet til gassbehandlingsanlegget på Kårstø. Lagringsskipet Åsgard C (Torill Knutsen, OAS shipping) mottar kondensat og råolje fra Åsgard, Mikkell og Kristin og leverer en lettoljekvalitet som har fått navnet Åsgard Blend.[3]

2.2 Normand Flower

Normand Flower drives av Solstad Shipping AS og er et moderne fartøy til bruk ved undervannsoperasjoner. Fartøyet er av typen UT 737 og er bygd ved Søviknes Verft AS i 2002. Normand Flower har en moonpool på 7,1 m · 7,1 m, deksareal på 960 m², offshore krane på 100 tonn og lugarkapasitet for 140 personer. Skipet har en ROV hangar for to arbeids ROV'er og er DP- klassifisert i klassen "DYNPOS AUTRO". [4]

DP system står for Dynamisk Posisjonerings system og er et automatisert system som sørger for å holde båten i en gitt posisjon. Klassifiseringen "DYNPOS AUTRO" er fra DNV og tilsvarer NMD(Norwegian Marine Directorate) sin utstyrsklasse 3. Dette innebærer bl.a. at fartøyet ikke skal tape sin posisjon selv om en enkelt feil i aktive eller passive komponenter inntreffer.[5]



Figur 2.2.1 Normand Flower [4]

2.3 Modul Håndterings System

Om bord i Normand Flower på denne typen oppdrag er DeepOcean sitt Modul Håndterings System (MHS) montert. Dette er et tårn som plasseres over båtens moonpool. I tilknytning til tårnet er det et såkalt "Skidding System" som består av skinner som det forskjellige utstyret transporteres til og fra tårnet på. Fordelen med et slikt system er at en unngår løfting av utstyr under operasjonen på dekk. Innvendig i tårnet er det også montert styrerammer kalt "Cursors" som sørger for vertikal styring av modulen i tårn og moonpool. Tårnet har en løftekapasitet på 30 tonn og er utstyrt med Aktiv Hiv Kompensering (AHC).[1] AHC er et system som brukes for å utjevne bevegelsen til vaieren i kranen på grunn av båtens bevegelser i bølgene. De vertikale bevegelsene til fartøyet blir registrert. Disse målingene styrer så et hydraulisk system som motvirker bevegelsene ved bruk av hydrauliske sylindere eller direkte mot en hydraulisk løftevinsj.



Figur 2.3.1 Bildet viser MHS som betjener FCM og FCMRT samt "Skidding System"[1]

2.4 FCM og FCMRT

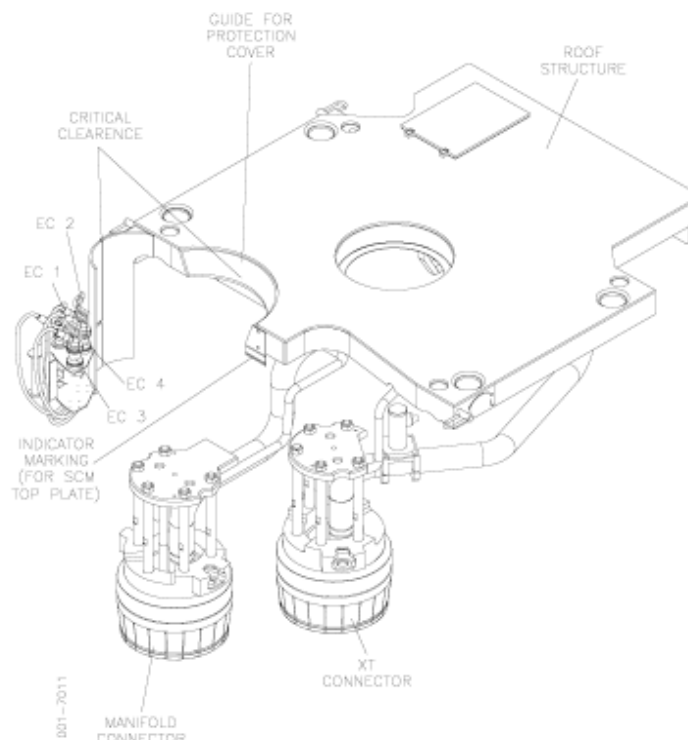
2.4.1 "Flow Control Module" (FCM)

FCM installeres mellom subsea ventil treet og manifoil og virker som en broforbindelse mellom disse.

FCM er designet for å regulere hhv. produksjons strøm eller injeksjons strøm alt etter hvilken type brønn den brukes på. Dette skjer ved at strømmen passerer gjennom en choke ventil inne i FCM. Selve styringen av FCM integreres i subsea kontroll modulen (SCM) slik at choken kan kontrolleres fra installasjonen på overflaten.

Det er også mulig å overvåke brønnstrømmen oppe på installasjonen via sensorer i FCM. Driftsparametrene kan dermed til en hver tid settes slik at optimal produksjon/injeksjon oppnås.

En FCM for produksjonsbrønner kan inneholde choke, trykk & temperatur transmittere, sand deteksjon og flowmeter. Dette er slitasjeutsatt utstyr som relativt ofte må skiftes ut. FCM er utformet slik at utskiftingen enkelt skal kunne gjøres fra et overflatefartøy.[7]



Figur 2.4.1 Tegning av Flow Control Module [6]

2.4.2 "Flow Control Module Running Tool" (FCMRT)

Dette er et verktøy som brukes når FCM skal hhv. installeres eller fjernes. I dette tilfellet skal gammel FCM opp før en ny skal installeres.

Når FCMRT er fysisk tilkoplest FCM kan koplingene som forbinder ventil tre og manifoil deaktiveres. Dermed kan FCMRT sammen med FCM løftes til overflaten.

2.5 Beskrivelse av operasjonen

Jobben med å skifte ut eller å vedlikeholde utstyr på en undervannsinstallasjon blir som regel utført dykkerløst fra et overflatefartøy. Dette kan være et skip eller en transportabel rigg.

Før fartøyet sendes ut må den forestående jobben planlegges og prosjekteres nøye. Omfanget av dette arbeidet varierer alt etter hvor stor jobben er og hvilket utstyr som er involvert. Felles for alle jobber er at det blir utarbeidet prosedyrer for utførelsen av prosjektet. Her inngår bl.a. lister over utstyr, verktøy, ROV, personell osv. som trengs for å utføre jobben. Det blir også satt opp punktlistor over hva som skal gjøres fra fartøyet mobiliseres til jobben er utført.

Etter at prosjektet er ferdig planlagt og relevant dokumentasjon foreligger blir fartøyet mobilisert ved kai. Deretter går det til lokasjon og begynner operasjonen. Her blir fartøyet posisjonert over undervanns modulen ved hjelp av Dynamisk Posisjonering (DP).

Undervannsinstallasjonene er bygd opp av flere moduler noe som gjør det mulig å fjerne mindre deler av installasjonen ved vedlikehold eller reparasjon. Ved modulhåndtering blir det først etablert ledelinier fra fartøyet og ned til installasjonen (ned til 800 meters dyp). Utstyret som blir fraktet opp og ned fra fartøyet er trådd inn på disse linene og en har dermed en sikker styring på dem. En arbeids ROV vil hele tiden observere operasjonen og det er denne som foretar de nødvendige til og frakoblinger samt opererer ventiler, brytere etc. på modulene under vann.

Den konkrete operasjonen som denne oppgaven tar for seg gjelder utskifting av en "Flow Control Module" (FCM) på et undervanns produksjonssystem på Åsgard feltet.

Den trinnvise operasjonen kan listes opp som følger: [6]

- Survey av bunnramme og luker vha. ROV
- Verifiser ventilstatus på relevante manifoil ventiler
- Åpne luker på bunnramme
- Lukk aktuelle ventiler
- Ta av "Tree Debris Cap"
- Installer ledelinier

- Hent opp gammel FCM vha. FCMRT
- Installer ny FCM vha. FCMRT
- Åpne aktuelle ventiler
- Sjekk (Commissioning) FCM
- Sett på "Tree Debris Cap"
- Lukk luker på bunnramme

Jobben er utført av DeepOcean for Statoil på feltet Åsgard i oktober 2006.

2.6 Skvalpesonen

Den mest kritiske fasen for en undervannsoperasjon er når utstyret blir senket gjennom havoverflaten. I dette området som kalles skvalpesonen vil mange forskjellige kombinasjoner av krefter påvirke objektet og en må derfor gjøre grundige analyser av løftet før operasjonen blir utført. Belastningene som påføres utstyret under installasjon eller senere håndtering vil i mange tilfeller være mye høyere enn kreftene som påføres under drift. Disse belastningene må en derfor ta hensyn til når en skal dimensjonere utstyret.

2.7 Værvindu - signifikant bølgehøyde

Ved offshore løfteoperasjoner er det to viktige kriterier som må defineres:

- krav til minimum værvindu, hvor mange timer det skal være mulig å operere sammenhengende i, under de maksimalt tillatte værforhold (vind og bølger).
- krav til maksimalt tillatt signifikant bølgehøyde; H_s [m].

Signifikant bølgehøyde kan defineres som: middelveiden av den tredjedelen av bølgene som er høyest i en periode på 20 minutter.[8]

Kapittel 3 Hydrodynamikk

Dette kapitlet beskriver sentrale størrelser og begreper innen hydrodynamikken

3.1 Masse, vekt og oppdrift

I hydrodynamikken er det viktig å holde orden på begrepene masse og vekt. Et objekts masse sier hvor mye materiale som finnes i objektet og vil alltid være konstant. Vekten eller tyngden til et objekt er den kraften som jordens gravitasjon trekker på objektet med.

- Symbolet for masse er m , og enheten er kilo [kg]
- Symbolet for vekt er W , og enheten er Newton [N].

Sammenhengen mellom masse og vekt i luft: $W = m \cdot g$

Vekten til et objekt vil være forskjellig ettersom det oppholder seg i vann eller i luft. Dette uttrykkes ved Archimedes' lov ved at oppdriften til et legeme i vann vil være lik vekten av det fortrengte vannvolum: $F_{\text{oppdrift}} = \rho_{\text{vann}} \cdot g \cdot V_{\text{objekt}}$. Objektets vekt i vann finnes da ved å trekke oppdriften fra vekten i luft: $W = mg - \rho g V$ [5]

3.2 Hydrodynamisk masse – Added mass

Når et objekt akselereres i vann vil det kreve en større kraft enn om det akselereres i luft. Dette kommer av at en del vann foran og bak objektet også må akselereres for at det fortsatt skal være i kontakt med objektet. Massen til dette vannet kalles hydrodynamisk masse eller *added mass*. Kraften som trengs for å akselerere et objekt nedsenket i vann uttrykkes ved:

$$F = M \cdot a$$

Hvor: M = den totale dynamiske massen ($m + m_a$)

Denne massen vil være strukturavhengig og dermed forskjellig i de ulike retningene dersom objektet ikke er symmetrisk.

Added mass blir uttrykt ved en masse koeffisient $c_a = \frac{m_a}{\rho V}$, og må finnes i tabeller basert på måldata.[5]

3.3 Hydrodynamisk demping - Drag

I likhet med et objekt som føres med en gitt hastighet i luft og møter luftmotstand, vil et objekt i vann møte en tilsvarende kraft som kalles strømningsmotstand eller drag. Denne kraften er avhengig av følgende faktorer:[9]

- oppstuvningstrykk på forsiden av objektet
 - redusert trykk på baksiden av objektet
 - virvelavløsning, oftest ved skarpe kanter
- Dragkraften vil også være avhengig av objektets geometri.

3.4 Slam

Slamming er en betegnelse på kraften som oppstår når en bølge treffer objektet i det den er i ferd med å nå vannflaten. Denne kraften avhenger blant annet av bølgens vertikale hastighet og det projiserte arealet til objektet som bølgen treffer. Slamming kraften vil opptre som impulskrefter. Ved korte bølgeperioder vil hastigheten til vannpartiklene, og dermed også slamming kraften være størst.

3.5 Slakk vaier

De kreftene som virker på objekter som føres gjennom vannflaten må i sum være størst nedover. Dette for å unngå at vaieren blir slakk og de påfølgende krefter som da oppstår når den strammes igjen.

3.6 RAO

RAO står for *Respons Amplitude Operations* og er beregninger av fartøyers bevegelser i alle 6 frihetsgrader (responser) ved forskjellige bølgeperioder. Dette er datasett som er utviklet for hvert enkelt fartøy og beskriver fartøyet responsamplitude per bølgekraftamplitude.

3.7 Kranhastighet

Hastigheten til vinsjen i modulhåndteringstårnet vil være avhengig av båtens bevegelseskarakteristikk i de aktuelle bølgene. Denne hastigheten finnes ved hjelp av RAO dataene til båten ved den aktuelle bølgehøyde. I tillegg kommer hastigheten vaieren blir kjørt ut med og eventuelle egensvingninger som følge av stivheten i systemet. I denne oppgaven betraktes systemet som helt stivt da det er veldig lite vaier som kjøres ut.

Kapittel 4 Gjeldende regelverk

Her blir det gitt en kort orientering om hvilket overordnet regelverk en må forholde seg til ved marine operasjoner.

4.1 OD/Petroleumstilsynet

Marine operasjoner skal oppfylle de regler som OD og petroleumstilsynet har satt for petroleumsvirksomhet på norsk sokkel. Den overordnede og mest generelle forskriften som skal legges til grunn er forskriften om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten. Denne kalles vanligvis rammeforskriften.

Rammeforskriften:

Denne gir krav rundt HMS og setter generelle rammer for aktiviteten. Dette kan bl.a. være krav til tilstrekkelig dokumentasjon eller arbeidstidsbestemmelser for å nevne noe. En aktivitet i denne sammenheng kan være alt fra en ny utbygging av et felt til vedlikehold på brønner slik som i denne oppgaven.

Videre er det fastsatt fire utfyllende forskrifter innen helse, miljø og sikkerhetsområdet:

- Forskrift om styring i petroleumsvirksomheten
- Forskrift om materiale og opplysninger i petroleumsvirksomheten
- Forskrift om utforming og utrusting av innretninger m.m. i petroleumsvirksomheten
- Forskrift om utføring av aktiviteter i petroleumsvirksomheten(aktivitetsforskriften)

Forskriftene omfatter sikkerhet, arbeidsmiljø, helse, ytre miljø og økonomiske verdier.[10] Av disse forskriftene er det den såkalte aktivitetsforskriften som er mest aktuell for denne oppgaven.

Aktivitetsforskriften:

"Aktivitetsforskriften gir regler om driften av ulike operasjoner og setter i den forbindelse krav til arbeidsmiljø, helsemessige forhold, ytre miljø, vedlikehold og beredskap. Krav til miljøovervåking og krav knyttet til bruk og utslipp av offshorekjemikalier er gitt som vedlegg, som en del av forskriften." [10]

Det er utarbeidet en veiledning til aktivitetsforskriften. Det er ikke krav om at denne veiledningen skal etterfølges men forskriften og veiledningen bør ses i sammenheng for å få en best mulig forståelse av det myndighetene ønsker å oppnå gjennom forskriften.[10]. Veiledningen gir anbefalte løsninger ved at det vises til industristandarder. Brukes disse anbefalingene vil også forskriftens krav bli oppfylt. Den helhetlige Operasjonen som denne oppgaven bygger på må tilfredsstille alle paragrafer i aktivitetsforskriften. De områder av operasjonen som går direkte på marine operasjoner og løfteoperasjoner blir videre spesielt belyst.

Marine Operasjoner:

Det refereres til kapittel XIV § 81 posisjonering.

Veiledningen fokuserer på dynamisk posisjonering og viktigheten av å ha et tilstrekkelig system. Dette for å unngå at alvorlige uønskede hendelser oppstår som følge av svikt i posisjonerings relatert utstyr. Tabell 1 i veiledningen bør brukes for å bestemme hvilken utstyrsklasse som skal brukes for å oppfylle kravet.

Løfteoperasjoner:

Det refereres til kapittel XVI § 83 Løfteoperasjoner.

Veiledningen sier at standarden NORSOK R-003N bør brukes.

Denne standarden går spesifikt inn på løfteoperasjoner tilknyttet petroleumsaktiviteter. Den gir bl.a. krav til utførelse, utstyr, bemanning, sertifisering.

4.2 DNV Regelverk

Petroleumstilsynet gir derimot ikke noen direkte veiledninger angående løfteoperasjoner under vann. Det blir dermed opp til hver enkelt aktør å bruke regelverk/standarter som fører til at de overordnede forskriftene rundt løfteoperasjoner knyttet til petroleumsvirksomheten tilfredsstilles. Eksempel på et slikt regelverk er DNVs "*Rules for planning and execution of marine operations*". Dette regelverket blir i stor grad brukt av aktører på norsk sokkel men er altså ikke et krav og heller ikke en anbefaling i veiledningen fra Petroleumstilsynet.

Derimot vil det ofte bli fremmet krav fra kunde (eksempelvis oljeselskap) til kontraktør selskap (eksempelvis undervanns entreprenør) om at overnevnte DNV regelverk skal nyttes. Også forsikringsselskap kan ha interesse av å fremme et slikt krav. Det er en generell oppfatning at undervanns entreprenør selskap som opererer på norsk sokkel, uansett, velger å dokumentere operasjoner ved å bruke DNVs regler for marine operasjoner. Dette bl.a. for å estimere de hydrodynamiske krefter som vil påvirke utstyret som nyttes i forbindelse med operasjonen. [11], [12]

Det verktøy og utstyr som brukes under slike operasjoner må være konstruert på en slik måte at det tåler belastningene som kan opptre i skvalpesonen. I arbeidet med å konstruere slikt utstyr må konstruktøren forholde seg til gitte standarder. En av standardene som kan brukes er DNVs "*Rules for planning and execution of marine operations*", og da spesielt Del 1 kapittel 3 og 4. siden denne oppgaven ikke omhandler konstruksjon av utstyret vil heller ikke standarder og regelverk rundt dette bli ytterligere omtalt.

Kapittel 5 Utført operasjon

I dette kapittelet er de parametere som ble registrert under operasjonen presentert og sammenstilt.

5.1 Vær og bølgedata

Bølgedataene som er brukt i oppgaven er hentet fra målinger gjort på Åsgard B. Målingene heter MIROS værdata (vedlegg E) og angir signifikant bølgehøyde [m] og signifikant bølgeperiode [s] i det aktuelle tidsrom. Fra leverandøren av målesystemet er det oppgitt en nøyaktighet for målingene på $\pm 5\%$.[13]

I det modulen blir senket gjennom skvalpesonen er de aktuelle verdiene:

- Signifikant bølgehøyde 2,7 m
- Signifikant bølgeperiode 6,9 s

5.2 Last i løftevaier

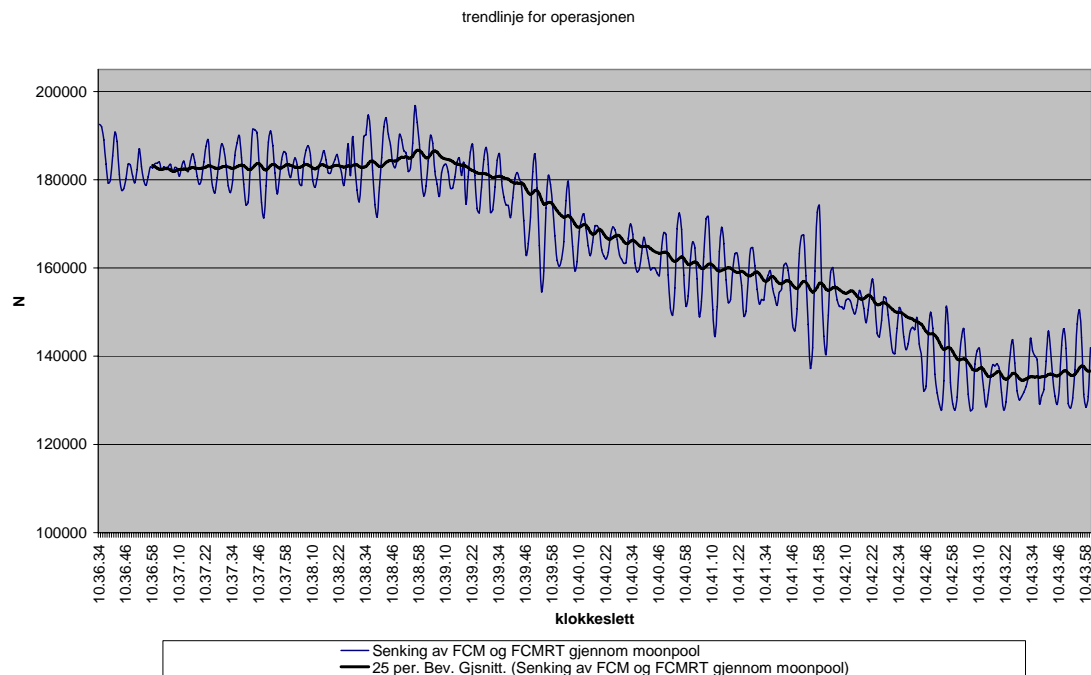
Under denne operasjonen var det montert en lastcelle i toppen av MHS for å kunne logge den aktuelle last i løftevaieren. Da disse målingene gir 25 registreringer pr. sekund må de forenkles noe og det blir lagt inn 1 registrering pr sekund i denne presentasjonen. Dataene fra lastecellen er oppgitt i kilo, dette er gjort om i Excel slik at her presenteres lasten i Newton.

5.3 Manuell logging

Feltingeniøren har logget vinsjens hastighet og opplysninger om modulens posisjon i moonpool i forhold til vannflaten manuelt underveis under operasjonen. Da dette er manuelle logginger er det rimelig å anta at spesielt tidspunktene kan avvike noe fra hverandre (se vedlegg E). På grunn av loggingen ble tiden de brukte på denne operasjonen vesentlig lengre enn det en normalt sett ville brukt.[14] Dette må tas med i betraktningen når kurvene fra forløpene sammenlignes.

5.4 Sammenstilling av dataene

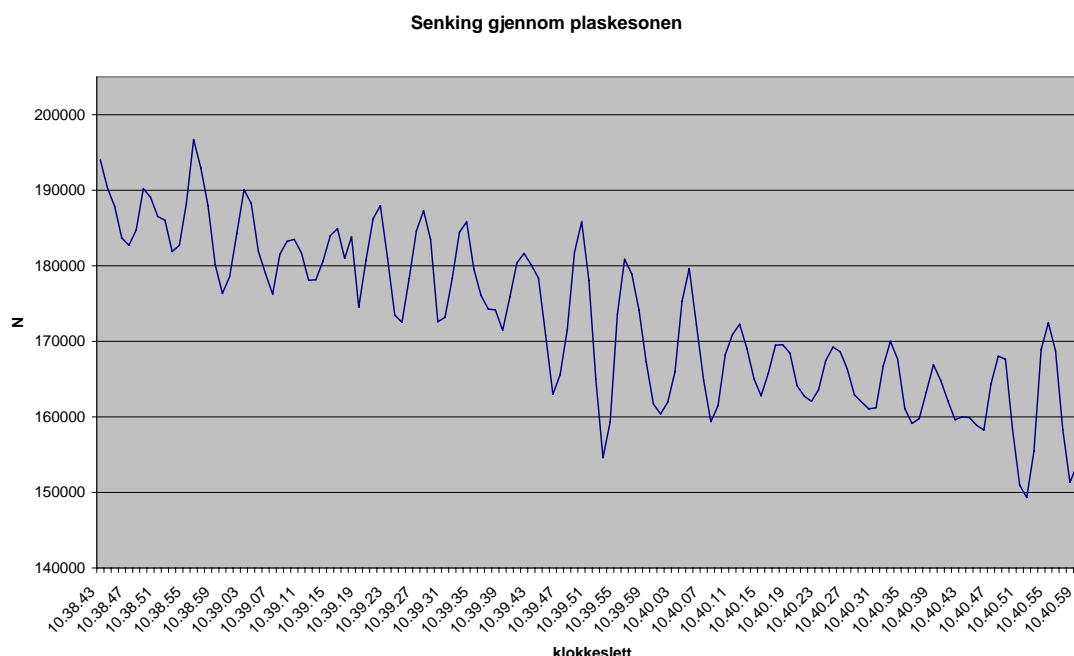
Med de opplysningene som da er gitt kan en plote lasten i løftevaieren mot tiden og fremstille det grafisk. Her er i tillegg lagt inn en trendlinje for å lettere lese av verdiene.



Figur 5.4.1 Last i vaier og trendlinje

Operasjonen starter kl 10.36, lasten i vaieren er da ca 190 000 N. Svingningene i lasten skyldes her bare båtens bevegelser i bølgene. Kl. 10.39 er lasten akkurat i vannskorpen og strekket i vaier avtar gradvis til ca 160 000 N når hele modulen er under vann ca kl 10.41. Her blir det større utslag på svingningene i lasten noe som skyldes de hydrodynamiske kreftenes påvirkninger. Lasten er deretter forholdsvis stabil gjennom resten av moonpool til den begynner å bli frigitt fra "Cursor" kl 10.42. Når modulen er ute av "Cursor" ser lasten ut til å stabilisere seg på ca 140 000 N.

For å se nærmere på tiden når modulen går gjennom skvalpesonen brukes notatene fra feltingeniøren som sier at kl. 10.39 er modulen i vannskorpen og kl. 10.41 er den helt under. Det gir følgende graf:



Figur 5.4.2 Last i vaier gjennom skvalpesonen

Ved slakk i vaieren vil kreftene i vaieren være mindre enn null. Det fremgår her tydelig at det under denne operasjonen er god margin før det vil inntreffe.

5.5 Kommentarer

Verdiene fra lastecellen kan ikke være riktige siden FCM og FCMRT til sammen veier ca 21 000 kg, i tillegg kommer en belastning fra "Cursor" som utgjør ca 2000 kg. Vekten av FCM og FCMRT er grundig sjekket ut med både eier og produsent. Det konkluderes derfor med at feilen må ha oppstått ved loggingen om bord i båten. Årsaken til dette kan bl.a. være feil innstilling av nullpunkt til lastecellen, lastecellen kan være defekt eller feil i signaloverføringen til loggeren. Et instrument som dette vil alltid ha et visst avvik i målenøyaktigheten. Da feilen i dette tilfellet er veldig stor anses ikke dette som årsak. Forløpet, og dermed kurvene, vil imidlertid gi et riktig bilde av operasjonen. Dataene fra loggingen er for øvrig også brukt i beregningene i kapittel 6 slik at resultatene kan sammenliknes.

Kapittel 6 DNV beregninger

Videre følger beregningsunderlag etter DNVs regelverk og formler.

6.1 DNVs "Rules for planning and execution of Marine Operations"

Dette er et regelverk som har til hensikt å sørge for at marine operasjoner blir utført innenfor et definert sikkerhetsnivå.[2]

Del 2 kapittel 6 i dette regelverket presenterer retningslinjer for undervanns installasjons operasjoner. Her blir det gitt formler for de aktuelle kreftene som vil påvirke et objekt i de ulike fasene under operasjonen. Beregningsmodellene overlater vurderingene av når kreftene oppstår i større grad til den enkelte bruker.

6.2 Aktuelle krefter i forhold til regelverk

6.2.1 Total kraft

$$F_{\text{total}} = F_{\text{Statisk}} \pm F_{\text{hydrodynamisk}} \quad \text{Lign.6 – 1}$$

der

F_{statisk} = Vekt av objekt i vann [N]

$F_{\text{hydrodynamisk}}$ = Karakteristisk hydrodynamisk kraft [N]

6.2.2 Statisk kraft.

F_{statisk} , vil være den statiske kraften som virker nedover. Denne kan uttrykkes som:

$$F_{\text{statisk}} = mg - \rho Vg \quad \text{Lign.6 – 2}$$

der

m = Massen til objektet [kg]

g = Tyngdeakselerasjonen [m/s^2]

ρ = Tettheten til sjøvann, normalt 1025 [kg/m^3]

V = Volum av fortrengt væskemengde [m^3]

Fortrengt væskevolum

Dette volumet er avhengig av hvor mye av objektet som er under vann. Tyngden av FCMRT i luft og i vann er oppgitt i kilo fra Statoil.[7] Dermed kan volumet av fortrengt væskemengde regnes ut ved å nytte Archimedes lov. (Tyngden i vann [N] fremkommer ved å multiplisere målt tyngde i vann 10665 kg med $9,81 \text{ m/s}^2 \Rightarrow F_{\text{FCMRT-Statisk}} = 104624 \text{ N}$).

$$F_{\text{FCMRT-Statisk}} = mg - \rho V g$$

Der:

$$F_{\text{FCMRT-Statisk}} = \text{Tyngde i vann [N]}$$

$$m = \text{Objektets masse [kg]}$$

$$g = \text{Tyngdeakselerasjonen [m/s}^2\text{]}$$

$$\rho = \text{Tettheten til sjøvann, normalt } 1025 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{FCMRT}} = \text{Volum av fortrengt væskemengde [m}^3\text{]}$$

$$F_{\text{FCMRT-Statisk}} = mg - \rho V_{\text{FCMRT}} g \Rightarrow$$

$$V_{\text{FCMRT}} = \frac{mg - F_{\text{FCMRT-Statisk}}}{\rho g} \quad \text{Lign.6 - 3}$$

For FCM foreligger det bare vekt i luft. Volumet av FCM kan finnes ved å anta at denne hovedsaklig er bygd opp av stål. Da kan følgende formel anvendes for å finne volumet:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{Lign.6 - 4}$$

der

$$m = \text{Massen til objektet [kg]}$$

$$\rho = \text{Tetthet til stål, } 7800 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

6.2.3 Hydrodynamisk kraft.

For nærmere beskrivelse av hydrodynamiske krefter henvises det til kapittel 3. I denne oppgaven er faren for å få slakk i løftevaieren det sentrale. De mest kritiske fasene vil da være de tilfellene når alle de hydrodynamiske kreftene virker oppover. Den samlede hydrodynamiske kraften kan da uttrykkes som:

$$F_{\text{hydr}} = \left(F_{\text{slam}}^2 + F_{\rho}^2 + F_{\text{drag}}^2 + F_{\text{masse}}^2 \right)^{0,5} \quad \text{Lign.6 – 5}$$

der

F_{slam} = Karakteristisk slamming kraft.

F_{ρ} = Karakteristisk oppdriftskraft på grunn av bølger.

F_{drag} = Hydrodynamisk drag kraft.

F_{masse} = Hydrodynamisk massekraft pga. akselerasjon.

Operasjonen som ligger til grunn for denne rapporten ble gjort gjennom "moonpool" på M/S Normand Flower.

Årsaken til at "moonpool" foretrekkes fremfor å løfte objektet over skipets rekke og videre ned i sjøen er flere. Ved å operere gjennom moonpool unngår en bl.a. at bølger virker direkte på objektet.

I ligning 6-5 inngår leddet F_{ρ} . Dette leddet skal ta høyde for at oppdriften til objektet varierer, pga. bølgebevegelsene, når objektet ikke er fullstendig neddykket. DNV foreslår følgende uttrykk:

$$F_{\rho} = \frac{H_s A_p \rho g}{\left[1 - \frac{2\pi g m}{20 K H_s} \right]^2} \quad \text{Lign.6 – 6}$$

der

H_s = Signifikant bølgehøyde [m]

A_p = Det projiserte arealet (horisontalt) av objektet som treffer vannflaten [m²]

ρ = Tettheten til sjøvann, normalt 1025 [kg/m³]

m = Massen til objektet [kg]

K = Stivheten til løftesystemet [N/m]

Selv om en opererer i moonpool vil en fortsatt ha varierende oppdrift som følge av vann bevegelsen i moonpool. Derimot kan ikke signifikant bølgehøyde H_s legges til grunn for denne beregningen da vann bevegelsen i moonpool vil bli

sterkt dempet i forhold til vann bevegelsen på havoverflaten. Kort oppsummert kan ligning 6-6 brukes ved operasjoner utenfor skipets skuteseide men det vil bli feil å bruke denne ved operasjoner i moonpool.

Den vannbevegelse som vil være representativ for moonpool kan avleses fra vedlegg B. (Denne verdi fremkommer i RMS og må gjøres om til maks verdi.) For de bølger som er aktuelle for denne oppgaven ($H_s = 2,7$ m og $3,4$ m) vil amplituden til vann bevegelsen i moonpool være hhv. $0,57$ m og $0,66$ m.

Dersom oppdriften til objektet antas å være lineær med tanke på hvor stor del som er neddykket, vil dette bidraget ligge i størrelsesorden rundt 5000 N. Innsatt i ligning 6-5 vil dette utgjøre veldig lite på den totale hydrodynamiske kraften. Velger dermed å neglisjere leddet som går på forandring av oppdrift i denne oppgaven.

Det understrekes at dette kun gjelder denne oppgaven. Der en har andre objekter og kanskje større bevegelser i moonpool må kanskje forandring av oppdrift inkluderes selv om en opererer i moonpool.

Leddene F_p i Lign.6 – 5 neglisjeres og følgende ligning legges til grunn i det videre arbeidet.

$$F_{\text{hydr}} = (F_{\text{slam}}^2 + F_{\text{drag}}^2 + F_{\text{masse}}^2)^{0,5} \quad \text{Lign.6 – 7}$$

6.2.3.1 Slamming kraft

Dette er den kraften som oppstår på bunnen og på andre flater når objektet senkes gjennom skvalpesonen. Kraften vil da virke oppover. Denne kan uttrykkes som:

$$F_{\text{slam}} = \frac{1}{2} \rho C_s A_p v_s^2 \quad \text{Lign.6 – 8}$$

Der:

ρ = Tettheten til sjøvann, normalt $1025 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

C_s = Slamming koeffisient. Settes til $5,0$ ihht. DNV

A_p = Det projiserte arealet (horisontalt) av objektet som treffer vannflaten $[\text{m}^2]$

v_s = Slamming nedslags hastighet $[\text{m/s}]$

Slamming nedslags hastighet

Dette er den relative hastigheten undersiden av objektet vil treffe vannflaten med. Her avviker oppgavens fremgangsmåte en del i forhold til DNVs regelverk. Grunnen til dette er at DNVs formler baserer seg på signifikant bølgehøyde. Ved operasjoner gjennom moonpool vil en ikke få bølger som kan sammenlignes med bølgene på havoverflaten.

I denne oppgaven vurderes dermed hastigheten ut i fra de bevegelsene som kan inntreffe i det slamming oppstår. Dette er vinsj bevegelse og vannets partikkel bevegelse i moonpool. Følgende uttrykk kan settes opp for den totale relative hastigheten:

$$v_s = v_{mp} + v_c \quad \text{Lign.6 – 9}$$

der

v_s = Slamming nedslags hastighet / Total relativ hastighet [m/s]

v_{mp} = Hastighet til vannflate på vei opp i moonpool, relatert til fartøy [m/s]

v_c = Vinsjens låre hastighet, relatert til fartøy [m/s]

Tar utgangspunkt i det mest ugunstige tilfelle. Da vil vannets bevegelse i moonpool være på vei oppover med sin maks hastighet v_{mp} . På samme tid vil objektet bevege seg nedover med sin maksimale låre hastighet v_c . Siden begge hastighetene er relatert til fartøyet er det ikke nødvendig å inkludere fartøyet hastighet i ligning 6-9. Den vil uansett bli opphevet pga. at den adderes til v_{mp} samtidig som den subtraheres fra v_c .

Hastighet i moonpool:

Vannbevegelsen i moonpool er en funksjon av båtens hiv bevegelse samt trykkøkning ifra passerende bølger. Videre så vil utforming av moonpool ha betydning for hvor store bevegelsene vil bli og hvordan de ligger i forhold til skipets bevegelse.[15]

Rolls Royce, som har designet UT 737, har gjort modell tester av skipet i Marintek sin bølgetank i Trondheim. Som følge av disse testene er det utarbeidet diagram som viser vannbevegelse i moonpool ved gitt signifikant bølgehøyde. Denne bevegelsen kan uttrykkes som en sinus funksjon ved å anta ren harmonisk svinging. Uttrykket for bevegelsen blir da:

$$S(t) = A \sin(2\pi ft)$$

der

S = Strekning [m]

A = Amplituden til bølge [m]

f = Frekvensen til bølgene [Hz]

t = Tiden [sek.]

Frekvensen finnes ut i fra perioden T .

$$f = \frac{1}{T}$$

Uttrykk for hastighet, v_{mp} , kommer frem ved å derivere uttrykket for bevegelse:

$$v_{mp} = \frac{dS}{dt} = 2\pi f \times A \times \cos(2\pi ft)$$

Typisk vinsj hastighet, v_c , er 0,5 m/s noe som også stemmer bra med data fra DeepOceans operasjon.

6.2.3.2 Drag kraft

Drag kraften oppstår som følge av motstanden objektet møter fra vannpartiklene på grunn av hastigheten, og uttrykkes ved følgende ligning:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d f_d A_p v_r^2 \quad \text{Lign.6 – 10}$$

der

C_d = Drag koeffisient, settes til 2,0 [16]

A_p = Arealet til det projiserte arealet i horisontal planet [m^2]

v_r = Relativ hastighet mellom objektet og vann partikler [m/s]

f_d = Tilleggscoeffisient pga. moonpool effekt

Relativ hastighet, v_r .

Drag kreftene i skvalpesonen blir beregnet med henhold på at objektet befinner seg i moonpool gjennom hele "sekvensen". Da kan den relative hastigheten v_r settes lik slamming nedslags hastighet v_s .

Når objektet senkes lengre ned i sjøen, altså ut av moonpool, vil hastigheten til vannet avta og den totale relative hastigheten blir mindre.

Tilleggscoeffisienten f_d pga. moonpool effekt

Siden operasjonen utføres gjennom moonpool blir drag coeffisienten C_d multiplisert med en coeffisient f_d for å korrigere for moonpool effekten.

$$f_d = \frac{1 - 0,5 \left(\frac{A_p}{A_{mp}} \right)}{\left[1 - \left(\frac{A_p}{A_{mp}} \right) \right]^2} \quad \text{Lign.6 - 11}$$

der

A_{mp} = Arealet til moonpool [m^2]

6.2.3.3 Massekraft

Massekraften oppstår som følge av at objektet og vannpartiklene akselererer i forhold til hverandre. Den totale massekraften kan uttrykkes som:

$$F_m = (m + m_{add})a_{ct} + \rho V a_w + m_{add} a_w \quad \text{Lign.6-12}$$

der

m_{add} = Added mass av objektet [kg]

a_{ct} = Vertikal akselerasjon av MHS [m/s^2]

a_w = Vertikal vannpartikkel akselerasjon [m/s^2]

Added mass

Tilleggsmassen for et rektangel formet objekt med sidene A og B der $B > A$ kan uttrykkes:[9]

$$m_a = \rho k \pi \frac{A^2}{4} B \quad \text{Lign.6-13}$$

B/A	1	1.5	2	2,5
k	0,58	0,7	0,76	0,8

Vertikal akselerasjon av MHS

$$a_{ct} = 4\pi^2 \sqrt{\left(\frac{\eta_H}{T_H^2}\right)^2 + \left(\frac{b \sin(\phi_R)}{T_R^2}\right)^2 + \left(\frac{l \sin(\phi_P)}{T_P^2}\right)^2} \quad \text{Lign.6-14}$$

For M/S Normand Flower ligger moonpool og følgelig MHS sentrert midt i skipet både langskips og tverrskips. Dermed blir $b = 0$ og $l = 0$. Følgende uttrykk står igjen:

$$\begin{aligned} a_{ct} &= 4\pi^2 \sqrt{\left(\frac{\eta_H}{T_H^2}\right)^2} \\ &= \frac{4\pi^2 \eta_H}{T_H^2} \end{aligned}$$

$$\eta_H = \frac{H_s}{2} \times RAO$$

Lign. 6-15

der

η_H = Amplitude hiv bevegelse for fartøy [m]

RAO = *Response Amplitude Operations* [m/m]

Vertikal akselerasjon av vannpartikkel

Uttrykk for hastighet til vannpartiklene i moonpool ble utredet tidligere. (kap 6.2.3.1) Uttrykk for akselerasjonen til vannpartiklene i moonpool kommer frem ved å derivere uttrykket for hastigheten.

$$a_w = \frac{dv}{dt} = -4\pi^2 f^2 \times A \times \sin(2\pi ft)$$

6.3 Beregningsanalyse

I det objektet skal gjennom skvalpesonen vil det alltid bli utsatt for ulike typer krefter. Noen virker nedover mens andre virker oppover.

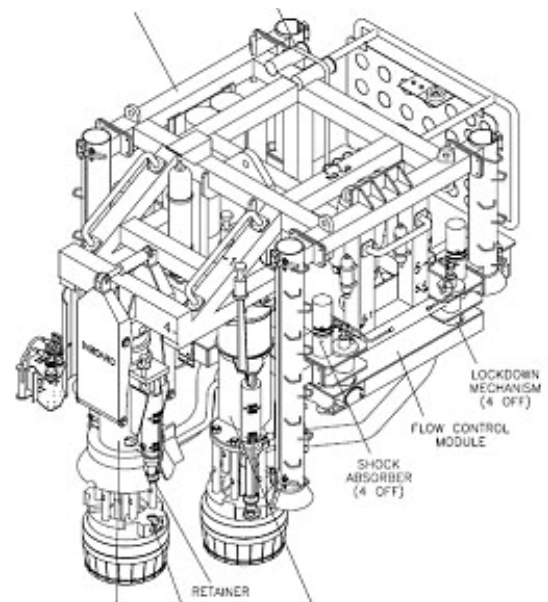
I sekvensen fra objektet henger i MHS til det er helt neddykket, kan kreftene variere mye med tiden. Dette kommer av at oppdrift, drag, slam og massekrefter/tregghetskrefter varierer alt etter hvordan objektets utforming er og hvor mye av objektet som er kommet under vann. Som følge av dette bør det gjøres beregninger i ulike øyeblikk i denne sekvensen. Det bør gjøres analyser for hvert øyeblikk slik at de data som blir brukt er mest mulig reelle i forhold til hvor langt objektet er kommet i sekvensen.

På denne måten vil det mest kritiske tidspunkt/ posisjon bli avdekket og dette blir den begrensede faktor i operasjonen med hensyn til skvalpesonen.

I denne oppgaven er det gjort beregninger ved 4 forskjellige posisjoner. Posisjonene samt kreftene som oppstår er gjengitt i figur nr 6.3.1.

6.3.1 Posisjon 1 (P1)

De første delene av FCM skal gjennom skvalpesonen. Her inngår de to sylinderformede koplingene og en rørlengde. Da hele FCM i utgangspunktet er over vannflaten er det statisk kraft, slammingskraft og objektets massekraft i luft som vil påvirke operasjonen i denne posisjonen.



Figur 6.3.1 posisjon 1

Slamming areal, A_{p1} :

Estimering av det projiserte arealet er gjort med grunnlag fra tegningene av FCM og FCMRT.[6] Da disse tegningene er lite detaljerte vil dette arealet være et røfflig anslag.

Tegningene viser 2 sylinderformede komponenter med diameter $\approx 0,85\text{m}$ samt et rør med diameter $\approx 0,17\text{m}$ og lengde $\approx 1,5\text{m}$.

$$A_{p1} = 2 \times \left(\frac{\pi \times 0,85^2 \text{ m}}{4} \right) + (1,5\text{m} \times 0,17\text{m})$$

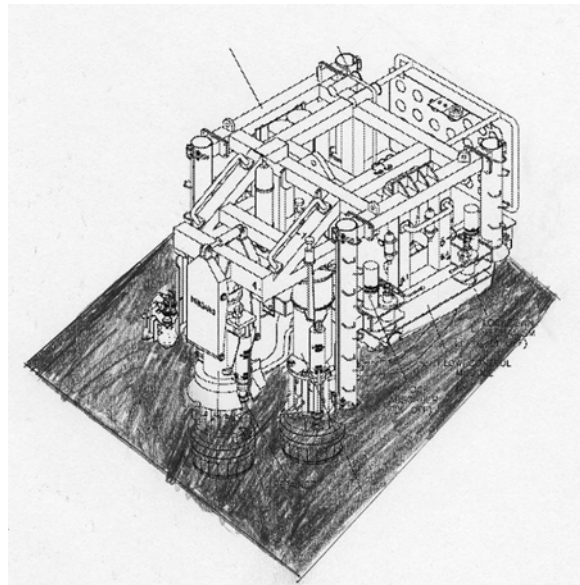
$$\approx \underline{1,4\text{m}^2}$$

Drag areal, A_{p1} :

Det vil ikke oppstå drag i posisjon 1.

6.3.2 Posisjon 2 (P2)

Komponentene nevnt i P1 er nå under vann. Det neste som skjer er at platen på toppen av FCM skal gjennom skvalpesonen. Det vil da oppstå drag krefter og masse krefter på det som allerede er nedsenket i sjø samtidig som at det oppstår slamming krefter på platen når den senkes gjennom skvalpesonen.



Figur 6.3.2 posisjon 2

Slamming Areal, A_{p2} :

Det projiserte arealet blir i denne posisjonen det projiserte arealet av lokket på FCM. Dette kan settes opp som 2 rektangler(se vedlegg D1)

$$A_{p2} = (2,3 \times 1,1) + (2,0 \times 3,1)$$

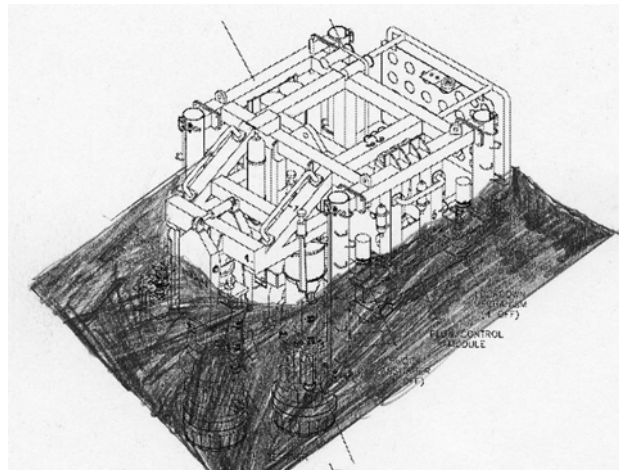
$$= \underline{8,73\text{m}^2}$$

Drag Areal, A_{p2} :

Det projiserte arealet av de komponentene som er neddykket vil i denne posisjonen være det samme arealet som ble brukt for å finne slamming kraften i posisjon 1. $A_{p2\text{drag}} = 1,4\text{m}^3$

6.3.3 Posisjon 3 (P3)

Hele FCM og halve FCMRT er kommet under vann. Hele FCM og halve FCMRT forårsaker da drag og masse krefter samt at det vil oppstå slamming krefter på de komponentene som er montert inne i FCMRT i det de skal gjennom skvalpesonen.



Figur 6.3.3 posisjon 3

Slamming Areal, A_{p3} :

Det projiserte arealet med tanke på slamming kraft blir i denne posisjonen summen av alle arealer de mindre komponentene inne i FCMRT danner. Dette blir dermed et grovt estimat som kan settes opp på følgende måte: Tar det totalt projiserte arealet av FCMRT. Subtraherer arealet av den rektangulære åpningen i midten. Multipliserer videre med 0,7 for å ta høyde for at området ikke er helt tettpakket med utstyr:

$$\begin{aligned} A_{p3} &= ((3,785 \times 3,6)\text{m}^2 - (2,65 \times 1,15)\text{m}^2) \times 0,7 \\ &= \underline{7,4\text{m}^2} \end{aligned}$$

Drag areal

Det projiserte arealet av de komponentene som er neddykket vil i denne posisjonen være det projiserte arealet av FCMRT. Dette arealet er det vanskelig å finne et eksakt mål på, men ved å multiplisere største lengde med største bredde vil en komme i nærheten. For å tilnærme det ytterligere, multipliseres svaret med 0,92. Dette for å ta høyde for at området ikke er fullstendig fylt opp med komponenter.

$$\begin{aligned} A_{p3\text{drag}} &= (4,397 \times 3,368)\text{m}^2 \times 0,92 \\ &= \underline{13,63\text{m}^3} \end{aligned}$$

6.3.4 Posisjon 4 (P4)

Både FCM og FCMRT er under vann. Det er bare drag og masse krefter som vil påvirke objektet.

Drag areal, A_{p4} :

Drag arealet for denne posisjonen vil være likt det som ble funnet for posisjon 3.

$$A_{p3\text{drag}} = A_{p4\text{drag}} = \underline{13,63\text{m}^2}$$

6.4 Resultater

Det henvises til vedlegg A for detaljerte utregninger av kreftene som vil påvirke operasjonen. Resultatene fra vedlegget er sammenfattet i tabellen under.

	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4
F_{statisk}	191 295 N	180 033 N	172 190 N	164 447 N
F_{slam}	3 732 N	23 274 N	19 729 N	0 N
F_{drag}	0 N	1 557 N	23 620 N	23 620 N
F_{masse}	5 772 N	6 640 N	29 734 N	30 107 N
$F_{\text{Hydrodynamisk}}$	6 873 N	24 253 N	42 793 N	38 267 N
F_{total}	184 422 N	155 780 N	129 397 N	126 180 N

Figur 6.4.1 Resultater DNV beregninger

6.5 Forandring av parametere

6.5.1 Forandring av bølgedata

Har i denne delen økt verdiene på parametere for bølger. Posisjon 3 og 4 viste seg å være tilnærmet like ved signifikant bølgehøyde på 2,7 meter. Siden det i posisjon 3 oppstår slamming legges denne posisjonen til grunn i dette kapittelet.

Vertikal akselerasjon av vannpartikkel

Som underlag til beregningene i vedlegg A5 må akselerasjon av vannpartikler foreligge.

Gamle og nye parametere samt resultater er oppsummert i tabell 6.5.2.

	Gammel verdi	Ny verdi
Signifikant bølgehøyde	2,7 m	3,4 m
Signifikant bølgeperiode	6,9 s	6,64 s
Laveste kraft i løftevaier	129 397 N = 129 kN	114 304 N = 114 kN

Figur 6.5.2 Resultater DNV beregninger med nye bølgedata

Bakgrunnen for at akkurat disse nye parametrene er brukt er at dette er data som foreligger i målingene som ble gjort på Åsgard ved den aktuelle jobben.

6.5.2 Konklusjon

Å gå fra 2,7 m til 3,4 m signifikant bølgehøyde vil ikke gi store utslag for kraften i vaier, forskjellen er på ca 15 000 N.

Da det ikke foreligger data for høyere bølger er det ikke utført videre beregninger. Uansett vil det ved en signifikant bølgehøyde på 4 m være utsetting av ROV som begrenser operasjonen. [17]

Ved å legge DNVs beregningsmodell til grunn blir konklusjonen at jobben fortsatt kan utføres innenfor god margin for slakk vaier ved H_s på 3,4 m. Ved bølgehøyder på opp mot 4 m, vil marginen sannsynligvis begynne å bli mindre. Da operasjonen likevel blir stoppet her trenger ikke nedsetting av FCM/FCMRT være den begrensede faktor for denne jobben.

Kapittel 7 Orcaflex

Her blir analyseprogrammet Orcaflex presentert med de vurderinger og funksjoner som er brukt i denne oppgaven. Filene av system og analyser finnes i vedlegg H (På CD Plate).

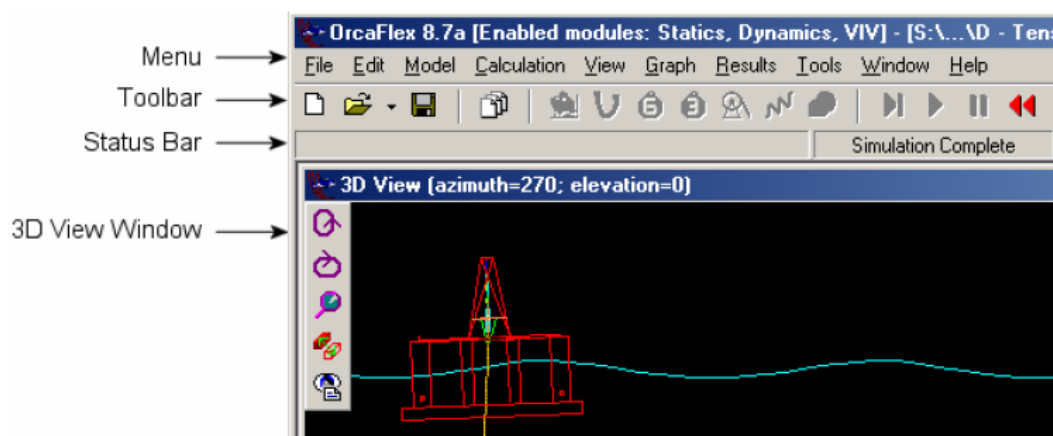
7.1 Oppbygning av programmet

Orcaflex er et Windows basert program som brukes for å gjøre statiske og dynamiske analyser av systemer som brukes i offshore og marine miljøer. Dette kan være rørledninger, kabel systemer, stigerør, subsea strukturer, subsea utstyr osv. Programmet er utviklet og forhandles av Orcina Ltd i UK som er et konsultentselskap innen struktur og hydrodynamikk. Den første versjonen av Orcaflex ble lagd i 1986 og er siden blitt kontinuerlig oppdatert.[18]

Bakgrunnen for programmets beregninger er forhåndsprogrammerte matematiske modeller. Mange av disse modellene er basert på formler fra generell hydrodynamikk. Eksempler på dette er formler for Drag, Added mass og oppdrift. Programmet tar derimot ikke for seg slamming kraften, som en egen komponent. Den blir derimot til en viss grad tatt høyde for ved at drag komponenten benyttes i de tilfeller der slamming oppstår.

Videre så brukes element metoden slik at resultatet fra analyse av komplekse systemer blir mer nøyaktig.

Programmet er brukervennlig utformet, dette kommer blant annet frem ved at systemer kan modelleres 3 dimensjonalt. Noen enkle modeller er tilgjengelige i programmet. Er det derimot ønskelig med mer spesifikke objekter, kan disse tegnes i et DAK program for så å importeres til Orcaflex. Da dette er tidkrevende er det i denne oppgaven brukt enkle modeller som finnes i programmet fra før. Hele systemet kan roteres om X, Y, Z aksene for på den måten å gjøre det mulig å se alle flater av systemet. Når systemet er ferdig modellert kan det kjøres animasjoner som viser alle bevegelser.



Figur 7.1.1 Orcaflex hovedvindu med menyer og en animert rigg.[16]

Utformingen til de modellene som brukes i systemet vil ikke ha betydning for resultatene. Analysen bruker utelukkende innsatt/importert data til å gjøre beregninger. Det er dermed ikke interessant hvordan en modell av et fartøy ser ut. Det er bl.a. de innsatte/importerte RAO data som bestemmer bevegelsene fartøyet vil få. Det samme vil gjelde for objekter som skal senkes ned i vann. Her må eksempelvis Drag areal, koeffisienter, volum og vekt settes inn.

Det er en mengde data og parametere som kan legges inn i programmet for å få det mest mulig relatert til virkeligheten. Kap. 7.2 Input, tar for seg de data som er satt inn for denne oppgaven.

7.2 Input til program - Forenklinger

Målet for denne oppgaven, når det gjelder Orcaflex programmet, har vært å definere et system som er tilstrekkelig detaljert til å gi relevante og pålitelige resultater. Som nevnt tidligere er det en mengde data som kan settes inn i programmet og følgelig vil det bli mer tidkrevende jo mer en ønsker å ta med. Nedenfor er det oppsummert hvordan systemet i denne oppgaven er definert og hvilke forenklinger som er gjort.

7.2.1 Fartøy

Da prosjektet er basert på tidligere utført jobb med M/S Normand Flower var det avgjørende å definere et skip med moonpool. Dette ble gjort ved å kopiere et installasjons fartøy, med moonpool, fra eksempler utarbeidet av Orcina. Kopien ble deretter limt inn i nytt vindu i Orcaflex. Dette er en helt vanlig metode for å komme i gang med modellering av et system. Alternativet er å tegne et fartøy i DAK for så å importere det til Orcaflex.

Det er mulig å forandre på modellen etter at denne er limt inn. Det kan òg tegnes videre på modellen etter at den er kommet inn i ønsket vindu. Som tidligere nevnt så vil dette bare ha kosmetiske verdier.

Neste steg var å importere RAO data. Disse ble levert fra DeepOcean og skulle i utgangspunktet kunne importeres direkte. Det er derimot en del ting en må være oppmerksom på i denne sammenheng. For det første må parametrene i *Conventions* i mappen *Edit vessel type data* være innstilt slik at det stemmer over ens med RAO data filen. Et annet problem var at datamaskinen ikke godtok punktum i RAO data filen. Alle punktum i filen måtte byttes ut med komma. Deretter gikk importeringen greit.

Fartøyet kurs (heading) ble satt til 0°, altså opp mot bølgene.

7.2.2 MHS / Vinsj

For å modellere MHS ble det enkelt og greit brukt en vinsj som plasseres i det området der den skal stå i virkeligheten, dvs. i senter over moonpool. Vinsjen kan plasseres i løse luften uten at dette påvirker resultatene. Det er derimot viktig å kople vinsjen til fartøyet under *Edit winch data*. Da vil vinsjen følge fartøyets bevegelser. Her koples også vaier enden til *3D buoy* som omtales nedenfor. En kan videre velge detaljert eller enkel vinsj. Orcina anbefaler enkel vinsj for de aller fleste formål og dette er også valgt i denne oppgaven. Forskjellen på de to er bl.a. at en har mulighet å legge inn treghet og stivhet i selve vinsjen for den detaljerte utgaven.

For den enkle utgaven kan stivhet for vaier legges inn. Denne blir av Orcaflex benevnt i $[kN]$, det må derfor beregnes stivhet for 1 meter, dermed genereres den virkelige stivheten av programmet etter hvor mange meter vaier vinsjen har spolt ut $[kN/m]$.

Videre ble det valgt en vinsj hastighet på 0,5 m/s noe som stemmer bra med data fra den virkelige operasjonen.

7.2.3 Objekt

For å modellere FCM sammen med FCMRT gir Orcaflex to valg. *6D buoy* og *3D buoy*. Forskjellen er antall frihetsgrader. *3D buoy* har frihetsgrader i X, Y, Z retning mens *6D buoy* i tillegg har rotasjon om disse. X og Y retning er i horisontalplanet, mens z retning er vertikalplanet. Siden operasjon foregår ved bruk av lede liner vil det være tilstrekkelig å bruke *3D buoy*.

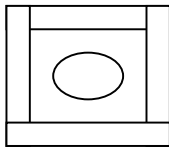
Under *Edit 3D Buoy data* ble det satt inn objektets posisjon i moonpool, volum, vekt, drag areal samt drag og *added mass* koeffisienter. Volumet i denne sammenheng er det fortrengte væskevolum som objektet vil ha.

7.2.4 Shape

Grunnen til at operasjoner blir utført gjennom moonpool er bl.a. at bølgene skal dempes av moonpoolen. Dermed vil vann bevegelsene bli vesentlig mindre i moonpool enn utenfor. For å simulere denne effekten i Orcaflex blir det benyttet en funksjon kalt *Shape*. Dette går ut på å definere et volum som er på størrelse med moonpoolen, for deretter å plassere denne i selve moonpoolen. Under *Edit Shape Data* velges *Trapped Water* som type. Objekter som går gjennom dette området vil da oppleve å få dempet bevegelsen fullstendig. Det er ingen innstilling i programmet på hvor stor denne dempingen skal være. Det bør derfor gjøres analyser både med og uten *shape* for så å estimere et resultat ut i fra de to analysene. Altså en slags middelerverdi.

7.2.5 Lede liner

Ved slike operasjoner som det denne oppgaven tar for seg blir det brukt både *cursor* og lede liner. Siden 3D bouy kan bevege seg i X,Y, Z retning vil det, i tillegg til bevegelse nedover i Z retning, også oppstå bevegelse i X og Y retning i det objektet senkes ned. Dette vil ikke være tilfelle i virkeligheten. For å modellere ledelinjer, og dermed hindre denne bevegelsen, blir også her *shape* funksjonen tatt i bruk. Måten en gjør dette på er å bygge opp "vegger" rundt objektet som blir senket ned, hvor hver vegg er en separat *shape*.



Figur 7.2.1 Skisse over Shape, sett ovenfra, med objekt i midten.

Under *Edit shape data* velges veggene som type *Elastic Solid*. Dermed vil objektet som kommer i berøring med veggene oppleve å støte mot en usynlig vegg og dermed bli værende i posisjon innenfor veggene som vist på fig. 7.2.1. Dette vil ikke påvirke kreftene i løftevaier.

7.2.6 Environment

Her blir det lagt inn opplysninger som går på de naturlige omgivelsene. Dvs. bølgetype, bølgehøyde, periode, strøm, vind etc.

Signifikant bølgehøyde samt periode var på forhånd oppgitt fra DeepOcean til hhv. 2,7 Hs og 6,9s. Bølgetype "*Dean Stream*" ble valgt, noe som tilsvarer regulære sinusbølger. Dette er en forenkling av virkeligheten men siden fartøyet ligger med baugen rett mot bølgene vil det være en tilstrekkelig antakelse i denne oppgaven. Det ble også prøvd å bytte til bølgetype "*Jonswap*" noe som medførte bedre margin til slakk i vaiern.

Da denne oppgaven ser på den del av operasjonen som foregår i moonpool er det ikke lagt inn verdier for strøm og vind.

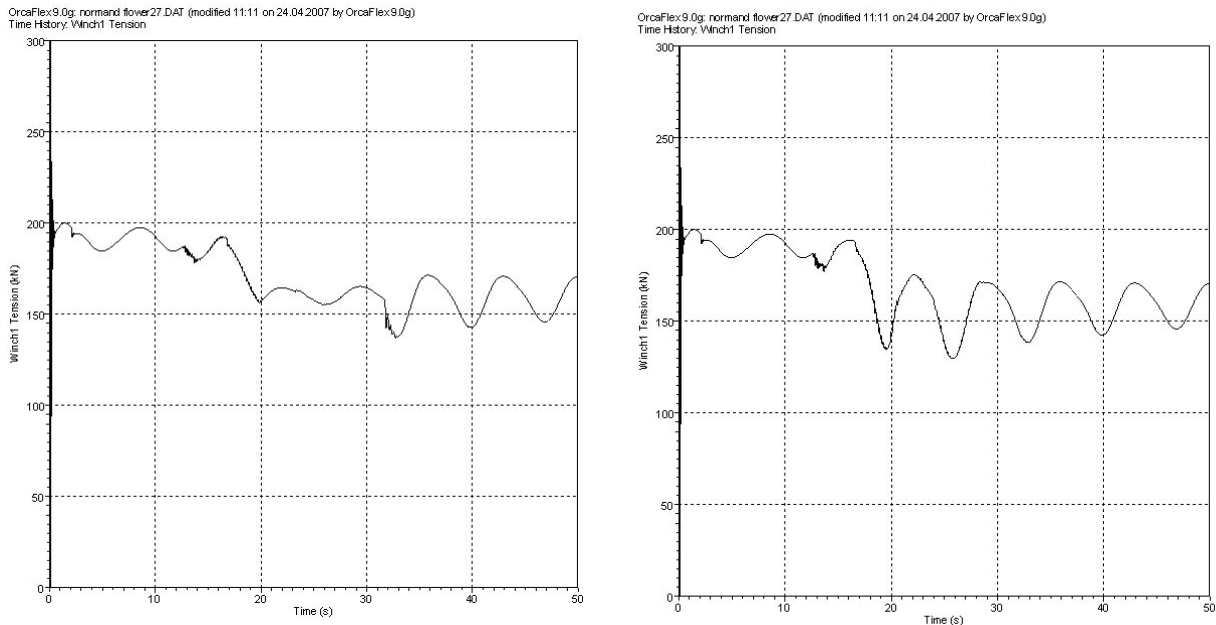
7.2.7 Input verdier

Bølge retning	180° (Dvs. inn mot baug)
Bølgehøyde	2,7 Hs
Bølgeperiode	6,9 Sek.
Bølgetype	Regulære (Dean Stream)
Fartøy lengde (Lpp)	81,95 m
RAO	Importert fra txt-fil
Fartøyets kurs	0°
Objektets vekt	19 500kg
Objektets fortr. volum	2,67 m ³
Objektets høyde	4,0 m
Drag Areal	13,63 m ²
Drag koeffisient	2
Added mass koeffisient	0,674
Vinsj hastighet	0,5 m/s
Vinsj vaier stivhet	148 440 kN (vedlegg F)

Figur 7.2.2 Input verdier til Orcaflex

7.3 Resultater

De valgte verdiene innsatt i Orcaflex gav følgende kurver for operasjonen:



Figur 7.3.1 Kurver av simuleringen i Orcaflex Hs=2,7 m (Med shape til venstre, uten shape til høyre)

Fra 0 til 15 sekund vil objektet henge i luft. Ved ca. 15 sekund vil vann begynne å slå oppunder objektet. Objektet befinner seg i moonpool frem til ca. 32 sekund. Etter dette vil kraften i løftevaier svinge som følge av båtens hiv bevegelser. De ujevnheter som vises på kurven ved 13 og 32 sekund kommer av at objekt er i kontakt med ledelinene som er definert i kap. 7.2.5.

Antar, som nevnt i kap. 7.2.4, at det virkelige resultatet vil bli en middelvei av disse to kurvene. Ser videre på det mest kritiske punktet med tanke på slakk vaier. Dette vil være ved ca. 26 sekund. Kraft i vaier med shape = 155 kN, kraft i vaier uten shape = 130 kN.

Middelveien finnes på følgende måte:

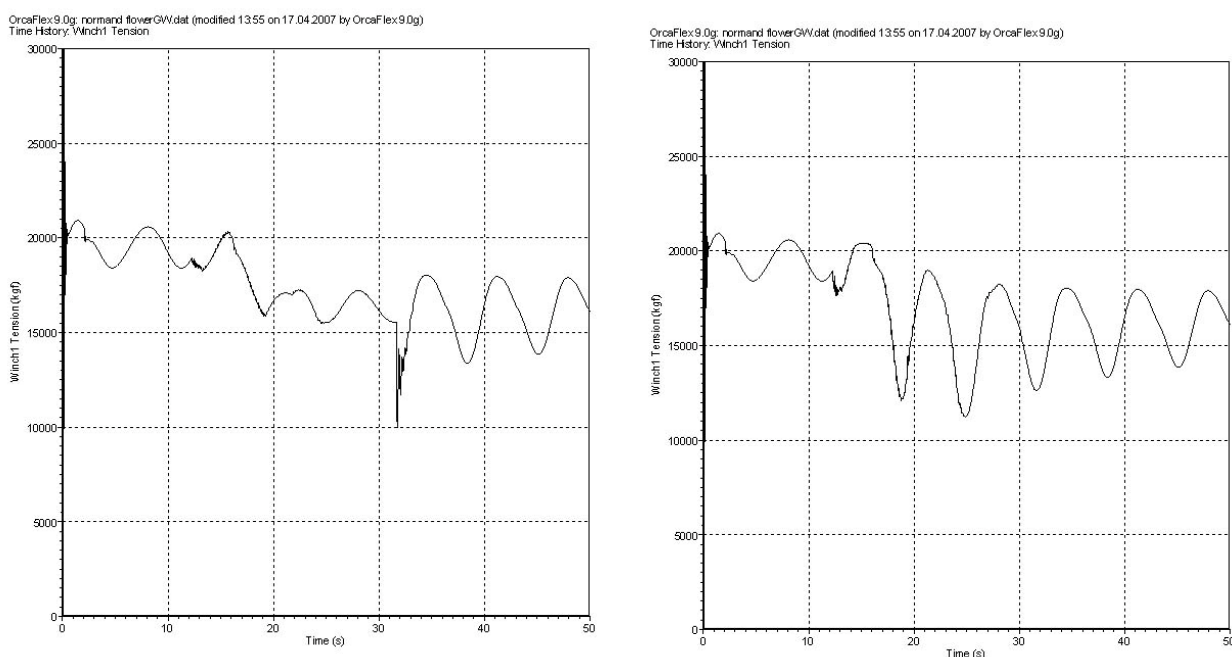
$$\text{Kraft i vaier} = \frac{155\text{kN} + 130\text{kN}}{2} \approx 143\text{kN}$$

7.4 Forandring av parametere

I dette del kapittelet blir forskjellige parametere i Orcaflex forandret. Det er ikke tatt med grafer fra alle simuleringene som er gjort i forbindelse med forandring av parametere. Har tatt med de grafer som er mest sentrale.

7.4.1 Forandring av bølgehøyde

I figur 7.4.1 vises resultatene etter at signifikant bølgehøyde er satt opp til 3,4 meter.



Figur 7.4.1 Kurver av simuleringen i Orcaflex Hs=3,4 m (Med shape til venstre, uten shape til høyre)

Den laveste kraften som opptrer i vaier ved signifikant bølgehøyde på 3,4 m vil være 133 kN. Dette er middelerdien som er nevnt i kap. 7.3. Forstyrrelsene som vises i grafen ved ca. 32 sekund er ikke lagt til grunn. Denne forstyrrelsen skyldes sannsynligvis at objektet går ut av "Trapped water" funksjonen som er brukt til å definerer moonpool.

Ved en signifikant bølgehøyde på 2,7 meter er det tidligere i oppgaven funnet at laveste vaier kraft er på 143 kN.

Forskjellen ved å øke signifikant bølgehøyde med 0,7 meter er dermed $(143 - 133) \text{ kN} = 10 \text{ kN}$. Differansen mellom Orcaflex og DNV, ved å øke bølgehøyden, vil være 5 000 N.

Ved å legge Orcaflex beregningsmodell til grunn blir konklusjonen at jobben fortsatt kan utføres innenfor god margin for slakk vaier ved H_s på 3,4 m.

Som tidligere nevnt så foreligger det ikke bølgedata på signifikant bølgehøyde over 3,4 meter. Ved å anta at signifikant bølgeperiode holder seg konstant på 6,5 sek. vil Orcaflex gi slakk vaier ved en signifikant bølgehøyde på ca 7 meter.

(Se vedlegg G)

En kort bølgeperiode som dette vil være representativ når det er i ferd med å blåse opp fra stille sjø.

Hvis bølgeperioden derimot øker med økende bølgehøyde vil dette være gunstig med tanke på slakk vaier.

7.4.2 Forandring av drag/slamming areal

Hvis dette arealet forandres betydelig vil ikke resultatene lenger være representativt for FCM/FCMRT. En stor økning i arealet vil føre til at slakk vaier inntreffer raskere pga. at drag og slamming komponentene blir betydelig større.

7.4.3 Forandring av vinsj hastighet

Ved å forandre denne til 1 m/s å samtidig beholde $H_s = 2,7$ m vil laveste kraft i vaier være ca. 130 kN. Dette er ingen stor forskjell mot 143 kN som er laveste kraft ved å bruke vinsj hastighet på 0,5 m/s.

7.4.4 Forandring av koeffisienter

Da disse koeffisientene allerede er satt relativt høyt er det ikke realistisk å øke dem ytterligere for å se hva innvirkning dette har.

7.4.5 Konklusjon

Ut i fra drøftingene over kan en oppsummere følgende:

Orcaflex viser at operasjonen med å bytte ut FCM ikke er kritisk ved en signifikant bølgehøyde på 2,7 meter. Her er det såpass stor sikkerhetsmargin at varierende av vinsj hastighet ikke vil påvirke operasjonens sikkerhets aspekt. Ved operasjoner rundt 4 meter signifikant bølgehøyde viser Orcaflex at operasjonen fortsatt kan utføres. En må derimot være mer påpasselig på bl.a. vinsj hastighet. Bølgenes periode vil òg begynne å gjøre seg mer gjeldende når bølgehøyden kommer opp i denne størrelsesordenen. Korte bølgeperioder gir større hydrodynamiske krefter enn lengre perioder.

Kapittel 8 Komparativ analyse

Sammenligningene i dette kapittel refererer hele tiden til vekten i vaieren på MHS.

8.1 Resultater

	Vaier last Pos.1	Vaier last pos. 2	Vaier last Pos. 3	Vaier last Pos. 4
Virkelig	177 kN	154 kN	137 kN	157 kN
Orcaflex	177 kN	147 kN	142 kN	157 kN
DNV	185 kN	156 kN	129 kN	126 kN

Figur 8.1.1 Sammenligning av resultater

Som det fremgår av tabellen over blir resultatene i de to første posisjonene så og si identiske. Videre i forløpet viser DNV resultatene ett gradvis økende avvik. Orcaflex resultatene vil være tilnærmet like de målte verdiene i alle 4 posisjonene.

Orcaflex viser seg dermed å være et velegnet program til slike analyser. Det er likevel rom for noen drøftinger rundt dette resultatet.

- Det at programmet ikke tar hensyn til slamming kan være av mindre betydning da forløpet ellers blir svært likt virkeligheten. Slamming og drag er egentlig to sider av samme sak, der slamming spesifikt tar for seg øyeblikks impulser. Programmet vil få med de viktigste dynamiske variasjoner i den drag modellen som blir brukt slik at effekten av å utelukke selve slamming delen blir minimal så lenge hastighet mellom vann og objekt er relativ lav. Det vil si i størrelsesorden under 2,5 m/s [19]. Det anbefales likevel å være oppmerksom på slamming hvis hastigheten mellom objekt og vann nærmer seg eller overstiger 2,5 m/s. I slike tilfeller kan det være hensiktsmessig å regne ut slamming kraften, f.eks. med DNVs formler, for så å addere dette inn i resultatene fra Orcaflex.
- Et annet tilfelle der bruken av programmet krever menneskelig vurdering er når operasjonen foregår i moonpool, som i denne oppgaven. Dette pga. at utforming av moonpool varierer mye mellom fartøystypene. Her er det spesielt damping av vannbevegelse samt faseforskyving mellom fartøys bevegelse og vann bevegelse som kan avvike en god del fra type til type. Som tidligere nevnt så er det ingen innstillinger der en kan sette verdier på damping og faseforskyving.

DNV beregningene vil være mer kritiske med tanke på slakk vaier enn virkeligheten og Orcaflex. Dette blir grundigere drøftet i de neste del kapitlene.

8.2 Årsaker til avvik mellom DNV og målte verdier

8.2.1 Slamming og Drag hastighet:

Da hastighetene opphøyes i andre potens vil små forandringer gi relativt store utslag på kreftene. Det er dermed svært viktig at disse hastighetene blir mest mulig reelle for å få ut et best mulig resultat. Som tidligere nevnt så er det i denne oppgaven gått bort fra å bruke de formler som står i DNV når det gjelder hastigheter. Dette fordi DNVs formler vil gi for høye hastigheter i forhold til operasjon gjennom moonpool.

Den modellen som er brukt i denne oppgaven går enkelt og greit ut på å summere de hastighetene som virker i forhold til hverandre. Også dette er forbundet med en viss risiko for avvik i forhold til virkelig hastighet. Dermed kan dette punktet påvirke at en får avvik mellom DNV og virkelige målinger.

8.2.2 Volum

Oppdriftskreftene som virker på et objekt vil avhenge mye av volumet som objektet fortrenger. Det er dermed svært viktig å få estimert ett mest mulig korrekt volum når en gjør hydrodynamiske analyser. For denne oppgaven så kan dette bl.a. finnes ved å sammenligne kraft i vaier før og etter neddykket tilstand. I tillegg så foreligger nøyaktig vekt av objekt både i luft og i vann. Avvik fra korrekt volum er i dette tilfellet dermed ikke årsak til forskjellige resultat.

8.2.3 Masse/Treghets krefter

Her er det *added mass* og akselerasjonene som kan bidra til avvik i resultatene. De empiriske formlene som er brukt for å estimere added mass er velkjente og godt utprøvde. På bakgrunn av dette vil sannsynligvis ikke denne tilleggsvekten avvike mye fra virkeligheten.

Når det gjelder akselerasjon til MHS er denne regnet ut vha DNV formel. Akselerasjon til vannpartikler er beregnet ut fra opplysninger om vannets bevegelse i moonpool. Disse opplysningene kommer som tidligere nevnt fra Rolls Royce.

Masse/Treghtetskrefter regnes derfor ikke å gi store avvik i forhold til virkeligheten.

8.2.4 Drag og Slamming koeffisienter

Ved bruk av drag og slamming koeffisienter vil det alltid være forbundet en viss unøyaktighet til disse så lenge det ikke er gjort tester av det konkrete objektet. I denne oppgaven er koeffisientene satt i samråd med eksperter i bransjen. De er videre satt slik at resultatet skal være på den konservative siden. Disse kan dermed være med på å bidra til det avviket som foreligger.

8.2.5 Generelt

DNVs formler er bare ment som en veiledning og bør sjelden eller aldri brukes konsekvent slik de fremstår. Formlene bør vurderes og eventuelt tilpasses til hvert prosjekt der DNVs regler brukes. [14]

8.3 Årsaker til avvik mellom DNV og Orcaflex

I tillegg til de årsaker som er drøftet i Kap. 8.2 kan følgende momenter trekkes frem:

DNVs beregningsmodell tar for seg øyeblikkssituasjoner. Orcaflex, som er et dynamisk analyseprogram, vil gi et sammenhengende bilde av hele sekvensen. Siden noen parametere forandrer seg med tiden vil disse bli kontinuerlig oppdatert i Orcaflex. Et eksempel på dette er den relative hastigheten mellom objekt og vannpartikler som i virkeligheten forandrer seg med vanndybden. For DNV beregningene antas denne hastigheten å være konstant.

8.4 Konklusjon

Resultatene viser at Orcaflex gir svært like resultater som det målingene fra den virkelige operasjonen gir. Det er dermed nærliggende å tro at den modelleringen av systemet som er gjort i Orcaflex er tilstrekkelig god til å få ut relevante resultater.

Størrelsesordenen på avviket fra DNV beregningene blir i posisjon 4:

$$\begin{aligned}\frac{157000N \times X}{100} &= (157000 - 126000)N \Rightarrow \\ X &= \frac{31000N \times 100\%}{157000N} \\ &= \underline{20\%}\end{aligned}$$

Dette kan høres litt mye ut men tatt i betraktning de feilkilder som er representert ved en slik fremgangsmåte er ikke avviket stort.

DNV er dermed en brukbar metode for å gjøre analyser som dette.

Forutsetningen er at formlene og alle parametere som skal brukes blir tilstrekkelig vurdert på forhånd. Generelt sett vil det være hensiktsmessig å gjøre analyser i forskjellige posisjoner i operasjonen lignende det som er blitt gjort i denne oppgaven. Viktigheten av en slik fremgangsmåte kan være enda større ved andre typer objekter med annen utforming.

Konklusjon

Det særegne med denne oppgaven er at de faktiske resultater foreligger i form av loggingene som ble gjort under utførelsen av operasjonen. På bakgrunn av dette kan en trekke klare konklusjoner rundt anvendelse av DNV og Orcaflex som analyse metode.

Orcaflex

Å definere systemer i Orcaflex kan gjøres på flere nivåer alt etter hvor nøyaktige resultat en er avhengig av. Å beherske alle avanserte funksjoner i programmet vil kreve lang bruker tid. Den tiden vi har hatt til rådighet i arbeidet med denne oppgaven viser seg å være tilstrekkelig for å tilegne seg nok kunnskaper til å definere et relevant system. De forenklinger som er gjort i programmet er vurdert til ikke å gi store utslag på resultatene.

Orcaflex gir svært like resultater i forhold til de virkelige målte verdiene. Programmet kan dermed være et godt hjelpemiddel når analyser for denne typer operasjoner skal gjøres.

Det er derimot viktig å hele tiden ta med menneskelige betraktninger når analysen kjøres. Som det kommer frem i rapporten må det spesielt vurderes om teoretisk utregnede slamming krefter skal adderes inn i resultatene. Dette er bare aktuelt der relativ hastighet mellom objekt og vannpartikler er høy. (2,5 m/s)

DNV

Regelverket blir fra DNV presentert på generell form og er ikke spesielt rettet mot operasjoner i moonpool på overflate fartøy. For at regelverket skal gi relevante resultater må dette tilpasses den operasjon som legges til grunn. Følgende parametere bør vurderes:

- Løftemetode (Moonpool eller over rekke)
- Ved løft i moonpool bør vannets bevegelse i denne fremskaffes. Dette varierer følgelig fra fartøy til fartøy.
- Objektets geometri. Spesielt er volum, masse og arealer viktig å fremskaffe.

Videre anbefaler vi å gjøre beregninger for flere posisjoner i det objektet senkes ned. Dermed kan den mest kritiske posisjonen lettere avdekkes.

En fremgangsmåte som dette førte til gode resultater i forhold til virkelige verdier. Hvis tilstrekkelig med opplysninger rundt løfteoperasjonen foreligger vil bruk av DNV regelverket gi gode resultater. Vi ser dermed ikke på regelverket som spesielt konservativt i forhold til den oppgaven det her er brukt til. Arbeidet med denne oppgaven har vist at en fort kan komme opp med høye hydrodynamiske krefter der visse parametere blir for høyt estimert.

I videre arbeid rundt løfteanalyser i skvalpesonen kan det være av interesse å bruke overnevnte fremgangsmåte opp mot nye objekter og eventuelt annet fartøy. Med andre ord, generalisere fremgangsmåten for å se om den også gir gode resultater ved andre typer operasjoner.

Referanseliste:

- [1] www.deepocean.no
- [2] DNV, Rules for planning and execution of Marine Operations 1996
- [3] www.statoil.com
- [4] www.solstad.no
- [5] Jens Chr. Lindaas HSH, Kompendium i undervannsteknologi 2002
- [6] DeepOcean, Normand Flower Generic Procedure – FMC FCM replacement Åsgard
- [7] Statoil, Operation and Maintenance Manual FCM – Technical information
- [8] www.ntnu.no/gemini/2004-02/14-17.htm
- [9] Peter C. Sandvik, Kompendium Løfteoperasjoner under vann 1997
- [10] Rammeforskriften, OD
- [11] Arild Østhus, Subsea 7
- [12] Pål Faye Schøll, DNV
- [13] Cathrine Eggseth, MIROS
- [14] Arnstein Lid, DeepOcean
- [15] Svein Kleven, Rolls Royce
- [16] Peter C. Sandvik, Marintek
- [17] Vibece Nicolaysen, DeepOcean
- [18] www.orcina.com
- [19] Jon Erik Borgen, Orcina

Figurliste

Figur 1.2.1 Overflatefartøy og ROV [1].....	2
Figur 2.1.1 Åsgard feltet [3]	4
Figur 2.2.1 Normand Flower [4].....	5
Figur 2.3.1 Bildet viser MHS som betjener FCM og FCMRT samt "Skidding System"[1].....	6
Figur 2.4.1 Tegning av Flow Control Module [6]	7
Figur 5.4.1 Last i vaier og trendlinje	15
Figur 5.4.2 Last i vaier gjennom skvalpesonen	16
Figur 6.3.1 posisjon 1	26
Figur 6.3.2 posisjon 2	27
Figur 6.3.3 posisjon 3	28
Figur 6.4.1 Resultater DNV beregninger	29
Figur 6.5.2 Resultater DNV beregninger med nye bølgedata	30
Figur 7.1.1 Orcaflex hovedvindu med menyer og en animert rigg.[16]	31
Figur 7.2.1 Skisse over Shape, sett ovenfra, med objekt i midten.	34
Figur 7.2.2 Input verdier til Orcaflex	35
Figur 7.3.1 Kurver av simuleringen i Orcaflex Hs=2,7 m (Med shape til venstre, uten shape til høyre)	36
Figur 7.4.1 Kurver av simuleringen i Orcaflex Hs=3,4 m (Med shape til venstre, uten shape til høyre)	37
Figur 8.1.1 Sammenligning av resultater.....	39

Vedleggsliste

- A – DNV beregninger
- B – Figur fra Rolls Royce
- C – RAO data Normand Flower
- D – Tegninger FCM og FCMRT
- E – Værdata og manuell logging fra utført operasjon
- F – Beregning vinsj vaier stivhet
- G – Simulering av bølgehøyde $H_s = 7\text{m}$
- H – Filer til bruk i Orcaflex